俄亥俄州與美國農藥施噴研究之回顧

原作者：R. D. Fox, H. Erdal Ozkan, F. R. Hall, R. A. Downer, R. C. Derksen, C. R. Krause, M. G. Klein, and R. D. Brazee

譯稿人：嘉義技術學院農業機械工程技術系艾群教授

摘要

農藥施噴研究將在下兩段討論。首先、討論在美國的研究，接著討論俄亥俄州的研究。在美國有一些大學，聯邦實驗室與產業界一直進行農藥施噴的研究。在此，吾人僅選擇一些研究計劃加以敘述，大部分是有關噴藥飄移（spray drift)、精耕農業（precision farming)、粉虱控制（whitefly control）與生物控制（bio-control）方法。在俄亥俄州有三個研究單位致力於施噴技術的研究。本文所有作者皆與害蟲防制施噴技術實驗室（LPCAT-Laboratory for Pest Control Application Technology）相關，至少是兼職成員，並且在許多計畫中共同合作。為便於討論，計畫因財源不同而分成三大部分，即為 LPCAT、FABE 學系與 USDA-ARS ATRU。大約有 30 個俄亥俄州的計畫被摘錄下來，所發行之文獻也被列出。

前言

在美國的研究計劃有一種追隨趨勢的傾向，即有一些領域受到歡迎，就會有許多研究者加入此研究領域，目前較有興趣的是精耕農業，這導致一些研究題目集中在農藥施噴。精耕農業對控制噴霧器輸出是很有效的，其可改變田間各部份之農藥施用率。因此許多研究計劃集中在此問題上，例如農藥線上注入、流量開關控制、雜草/作物辨識等。農藥的飄移是另一個很受歡迎的研究領域，許多研究著重於低飄移噴嘴、抗飄移添加劑（drift retardant adjuvants)，與飄移模式。有時作物栽培者之問題亦會引起研究者的努力，若干年前，有一種甘薯的粉虱對常用農藥產生抗藥性，這種昆蟲導致美國南部與西部很多作物之嚴重損失，於是許多研究計劃就開始涉入來控制這種害蟲。粉虱通常生存於作物株叢底部的葉背部份，研究皆集中於霧粒穿入株叢及於葉背沉積之模態。如何降低使用農藥一直是各研究的目標，所以在美國各州有許多有關沉積與噴藥技術之研究被進行以改進農藥沉積的一致性。

美國除了俄亥俄州外相關研究之摘要

精耕農業

在此吾人介紹一種 IPM/ICM 技術，因為精耕農業本身就整合了許多 IPM/ICM 技術於一控制方式中。如農業的線上噴射（in-line injection），通常包含了噴射器之流率控制。其中參考文獻中有許多學者，致力於線上噴射研究（如 Tompkins，Rockwell，Qui 等），而 Giles Ben-Salem 發展出一種比利用壓力變化更可應用於廣大範圍的螺旋形控制噴嘴，此噴嘴是調整流率，並不改變噴霧方式或霧粒大小。這種噴霧來說在美國已經商學製造了！

Vetter（1995.1996）利用 GDPS 的有效性做為地面與空中噴霧的導引。

亦有些研究者(如 Chaisattapagon，Franz，Simonton 等)利用影像分析來辨識 植物型態。Gile Slaughter 與（1997）使用影像系統於一列小型植物上，來控制噴霧帶的寬度。

Meyer（1998）也利用影像技術從土壤中來辨別植物且可辨別出各種雜草。

Ngouajio（1998）利用影像系統來預估雜草、作物樹叢及裸露土壤的面積。

一些在預露除草劑應用的商業噴霧器系統可經由光反射偵測器來辨識於裸露土壤上作物生長狀況。發現有光源噴霧器來辨識作物會比被動式偵測噴霧器來的可靠，因為土壤背景的變化與角度及日光的強度不同。Parish（1995）致力研究中耕時利用最小量農藥使用來控制雜草

噴霧飄移（Spray drift）

SDTF（Spray Drift Task Force）是一個由 36 位農業化學製造商組成的學會，其結合力量致力於利用飛行器、鼓風機與化學噴霧應用之噴霧飄移量測技術。

他們也從事於廣大範圍農業噴藥桶混合的物理性質量測，噴霧霧粒蒸發量測即在實際田間狀況下，(模擬風速及行進速度）廣大範圍農用噴嘴的噴霧分佈之霧粒大小量測。

這些研究企圖說服 USEPA，說明噴霧飄移是由許多因子來控制的，噴藥配方有效成分不是主要因子。

SDTF 與 EPA 也研究對每一噴霧系統預估順風沈積附著的電腦模式。亦有一些學者研究各種噴嘴刑式（Suits 1992）

粉虱控制

Coates 與 Palumbo 利用一些噴霧器來控制棉花與甜香瓜上的粉虱。他們發現氣輔式（air-assisted）與靜電式（electro-static）噴霧器會在葉背有較多的沈積附著，如此在較早的季節裡，可有效來控制粉虱、然而當樹叢再成長時，就較不

可行了！

生物控制方法

Delwiche（1998）發展出一種利用費落蒙於果樹上的省力方法。

Morisawa 與 Giles（1995）量測用機械分送系統處理已暴露昆蟲時的損失。

俄亥俄州研究計劃摘要

再俄亥俄州有三個單位一些學者再研究此方面的技術如：

Laboratory for Pest Control Application Technology (LPCAT)

Frank R. Hall, Head of LPCAT and Professor, *Roger A. Downer*, Research Associate, *Timothy A. Ebert*, Research Associate, and *Venkat Pedibhotla*, Research Associate, Dept. of Entomology, OARDC/OSU, Wooster, OH

Food, Agricultural, and Biological Engineering (FABE), The Ohio State University, Columbus, OH

H. Erdal Ozkan, Professor and *Tim Stombaugh*, Assistant Professor.

USDA-ARS Application Technology Research Unit (ATRU), located at OARDC, Wooster, OH.

Ross D. Brazee, Research Leader, *Robert D. Fox*, Agricultural Engineer, *Richard C. Derksen*, Agricultural Engineer, *Charles A. Krause*, Plant Pathologist, and *Michael Klein*, Entomologist.

LPCAT 研究計劃

生物有效性（Bioavailability）

這些研究注重於應用性與生物影響的交互作用。這些包含了應用毒素於標的有機體，轉移到目標物到達活動性視界，然後產生一生物結果之過程。此過程的一些部分是唯一作為單獨作物保護媒介物（如除草劑、殺蟲劑。）

對噴灑農藥而言，此農藥必會填上並殘留目標物表面（植物或土壤）。殘留農藥必會影響到目標物之有機體。其接觸是由昆蟲的移動與餵食才有作用，對土壤應用殺蟲劑的接觸是經由植物的生長。農藥的吸收是經由一連串的事件的影響如植物與昆蟲外表皮的微構造、農藥配方與添加劑、目標物的新陳代謝作用方法，應用與行為等。

對這些變數沒有較可靠的資料。也沒有一般的理論來預測它們的影響。其他較先進的領域（如數字、電腦、化學等）、連續提供在了解此複雜過程處理問題的解答，此複雜過程即為了解與操作此生物有效性。

LPCAT 為一多種學科的團隊，在應用這些創作來了解此過程扮演了很重要的角色。此工作經由一來自 EPA 財務支援的三年計畫來檢查這些生物農藥的依據過程。

沈積物結構與功效

此計畫是研究利用混合模式來調查沈積物結構（沈積物尺寸、沈積物數目）與生物效應關係。這些成果包括了生物測量的發展（如甘藍的殺蟲處理、甘藍銀紋夜蛾），與電腦模式。此電腦模式可提供一生物基礎生物測定大量實驗的快速評估。

農藥劑量（PDS-Pesticide Dose Simulator）模式可用來探究沈積物的結構功效性的影響。

混合設計模式影響到一些直覺觀察藥劑的過程、此能掃除以前文獻中的矛盾，例如在實驗室中小的霧粒可提供較好的功效，但在田間 CDA 噴霧器（可產生較小的霧粒）需要相似的應用率。基本上：1）從農藥施噴上害蟲死亡率從不會少於毒藥接觸的機率：2）均勻沈積結構會導致變動咀嚼昆蟲較低的殺蟲功效，因為它們不必快速的獲得大量毒藥劑量來克服昆蟲的生長。

噴霧自動化與樣式（Spray Automization and Patternation）

氣體相位都卜勒顆粒分析儀（Aerometrics Phase Doppler）是用來得到農藥與添加物的顆粒大小之光譜資料。而影像分析儀（IA-Image Analyzer）是用來估量在目標物表面之農藥顆粒大小的，如感水性紙。感水噴霧卡可擷取霧粒且可用 IA 在大規模田間利用來量測霧粒大小。唯一的噴霧模擬實驗是用來監測噴霧模式與擷取各種不同植物樹叢的效率。在過去四年來，自動化研究包括：飄移沈積物在顆粒光譜上的影響；剪力聚合體在光譜上的影響；使用不同噴嘴其噴灑面積在光譜上的影響；商業農藥配方混合各種添加物後視其添加物在光譜上的影響等。

飄移與標定（Drift and Targeting）

農藥飄移研究傳統上是使用各種不同的收集器，在飄移與生態毒物的效應聯合初步研究也是結合了 USDA 共同合作研究果園飄移之試驗、一風洞擷取效率模式是利用於目標物與非目標物上之霧粒擷取效應。

工作者暴露研究（Worker Exposure Studies）

農藥使用者的健康危機一直是研究者的重點。雖然考慮農藥使用與一些雜亂物之實際上在污染病學研究的有效數據上是不存在的。聯邦與州代表委託開始這些研究。目前工作暴露研究包含了（1）US-EPA 委洽 LPCAT 於消極的有效用量計之研究（2）NIOSH 委託 OSU 的預防醫學系做「農戶家庭危機」之研究，而 LPCAT 為在此化學暴露危機上的主要合作對象。很多的委託研究多在工作者的神經性行為、毒物的神經網路模式與在 1997 年，PI 介入在一美國化學協會上討論農藥安全。農藥危險的減緩與農藥的混合有關，殺蟲劑、除草劑、殺黴菌劑、添加物與肥料可能會在一噴藥應用混合應用。

農藥為害效率分析（Pestcide Risk Benefit Analyses）

農藥成本效率評估模式早在 1995 年美國農藥協會就已使用了。在一有用的評估/預測模式上分析危害與利益，需要一些實際環境為害的額外資料，而這一直是 LPCAT 努力的目標。

模式（Modeling ）

LPCAT 的農藥劑模擬器（PDS-pesticide dose simulator ）已被發展來模擬處理甘藍菜業以 Bt（Bacillus thuringiensis ）餵食菜蛾幼蟲的情況。它提供了檢查藥劑結構在功效上影響的基本能力。另外又增加了檢查不同的配方與 AIs 之通論模式。 LPCAT 的蒸發模式結合其他物理化學測量，可以提供探究農藥特性與在作物蟲害的最佳毒物代表更多的資料。

FABE 研究計劃

飄移沈積化學物質在噴霧飄移、霧粒大小與噴霧樣式的影響

此研究的特別目標為決定各種飄移沈積化學物質在霧粒大小、噴霧樣式與噴霧飄移減少上的影響。

這研究結果指出推薦 Nalco-trol 提供給由 Direct 、Target ，Driftgard 與配方 358 而成的噴霧體積中央直徑最大增加量。

一般而言，所有飄移沈積物會造成比水較大的向中心體積樣式。

當風速從 4.5 哩/小時增加至 9.0 哩/小時，對所有飄移沈積物而言，會在順風情況超過 1.68 英呎的連續沈積物。

一般而言，對最小噴霧沈積距離的飄移沈積混合有效性與增加霧粒大小有密切關係。

噴嘴磨損對噴霧樣式與霧粒大小的影響

噴嘴磨損對噴霧樣式的影響經由不同材料製成的風扇樣式噴嘴已做過研究。一種電腦自動稱重系統被用來快速預測噴霧沈積分佈。這結果指出新的、舊的風扇噴嘴所造成的噴霧沈積分佈是有一些差異的。基本上噴霧樣式的寬度是要保持定常數的，但是破舊的噴嘴會噴出的樣式中間有較多的液體。
不同材料的風扇噴嘴磨損對霧粒大小也有做過研究，用不同材料如銅，尼龍、塑膠、不銹鋼等與不同流率（0.2，0.4，0.6 與 0.8 加侖/分）來試驗。雖然破舊噴嘴會造成較大的 $D_{v0.5}$ 值，但一般而言，在流率小於 0.6 加侖/分 時，不論是新的或是舊的噴嘴在霧粒大小分佈上只有一點點的差異，但流率大於 0.6 與 0.8 加侖/分 時就有差異了！標準測量噴嘴磨損的程序可參關 ASAE 標準 S471

使用者對農藥廢棄物減少的態度調查

在俄亥俄州進行的農藥教育計畫中，有做過 18 個郡的調查，來學習更多目前的農藥施噴與處理練習。此調查提供了農藥使用對減少農藥廢棄物的態度是如何，，此調查結果指出在 1380 個問卷中約有三分二的使用者，一年至少一次校正他們的噴霧器，約有 10% 的人從不校正，超過 90% 的農民會清洗空的農藥容器，然而、只有 71% 的人會照表使用手冊來清洗，亦有 3% 的人說他們從來不清洗的。

燃燒是使用者處理農藥容器的一種方法。一般言之、農藥使用者表現出對減少農藥廢棄物的觀點是正面的

草坪殺蟲劑的地下注射

在草坪表面用殺蟲劑，對控制地表的蠐螬是不太有效用的，它會造成人類，寵物其他動物暴露於殺蟲劑下之危險。為了減少這種危險，有三種注射系統可用來置放殺蟲劑於地表面下直接到主要蠐螬活動的區域。結果指出這殺蟲劑可以對草皮些微損失但可將殺蟲劑成功的注入地表下，在兩種常用草皮殺蟲劑注入後的表面殘留分析，顯示出比從表面噴射的殘留量有顯著的減少約 38% 到 95 % 之間。

使用此三種注射方法中的兩種來控制蠐螬會比傳統表面使用方法來的有效或更好。

在風洞中氣輔式，充電式 噴霧的沈積影響

主要靠靜電及重力來傳送及沈積的微小噴霧霧粒對飄移有多大的影響。而且比噴霧要穿透過濃密的樹叢是不太適用的。氣輔充式噴霧的沈積，在風速為

11 哩/時風洞中收集的體積平均直徑約有 92μm，此結果顯示出風速為 24.6 哩/小時時，點噴霧會被吸入，使目標物的面積有較多的沈積量，且能改善噴霧順風穿透到樹叢及減少飄移。

田間噴霧器噴霧飄移的電腦模擬

此電腦程式可用來決定各種變數在個別噴霧霧粒的飄移距離之影響。
這些變數最初的霧粒大小、速度與放出流量高度、風速及擾動強度、相對濕度與液體的揮發性。如 200μm 直徑大的水滴，飄移距離會受到最初的霧粒速度及放出流量高度。在風洞中測試的實驗數據證明了用電腦程式來預測水滴的飄移距離是很精準的。此電腦程式亦可用來計算各別噴霧霧粒的飄移距離。

一種自動計算噴霧樣式分析系統

大部分樣式計皆以人工方式使用收集圓柱管來研究噴嘴噴霧樣式特性，而這些樣式計在記錄與分析數據時易受人為誤差影響，此過程也很費工耗時。調查結果顯示利用此人工樣式計來收集與分析每一噴嘴的數據平均為 35 分，而此文所提的自動收集系統，收集與分析每一噴嘴約為 1 分種，即可完成測試。此自動系統與人工系統比較有可靠的精準度。

使用遮蔽減少飄移

使用六個不同的機械遮蔽於噴霧霧粒的沈積距離來覆蓋噴霧寬度的影嚮。可由電腦的流體動力軟體（如 Fluent）來模擬。不可避免的使用固定陡峭板遮蔽物，在遮蔽物後方或遮蔽區域內會同時導致低流速區域。在此研究中，雙鈍頭遮蔽式機械遮蔽物是最好的設計。
氣壓遮蔽噴霧的最佳操作參數，經由多因子變異數分析為 90 哩/小時噴射速度，3600 呎 ^{3}/分的噴射流，與 15 度的噴射角。遮蔽物對風洞的不適當尺寸比及遮蔽的振動會造成不一致性。

在農業化肥噴霧桶中心的混合量測

利用瓷土黏土/線上混合濃度的量測來探討農業化肥噴霧器的水力噴射攪動系統的有效性，一表面散佈型式的污濁計，被用來評估使用時模擬可加水粉狀農藥的濃度。一攪動指標（叫 AGEF）被定義不論量測桶大小與形狀，來評估各別攪動系統的有效性。 AGEF 是基於三個量測混合的準則：在使用時，顆粒會沈積於容器底部，由線上到橫桿之混合濃度變異係數在容器出口的混合濃度最大標準差與使用時平均濃度量測之比值。

噴霧材料線上噴射的時間延遲與均勻度

噴射噴霧器結合傳統噴霧器可消除一些問題，但噴射噴霧器本來就有在噴嘴上時間延遲與混合均勻度的問題。一旋轉台取樣系統是用來在噴物橫桿的混合濃度與在一橫桿 範圍從噴嘴噴出預期混合濃度的延遲時間，一電腦控制的系統被設計在一模擬噴霧器加速或減速下。使用者可以很容易收集每一噴嘴的樣本，三種水溶性與一種非水溶性的液體(water，prime Oil， prime Oil II 與 Silicon Oil)，且粘度在 0.9 到 97.7 cps(百分泊)的範圍內來模擬農藥。來研究在兩種尺寸（3/8 與 3/4 的直徑）下模擬農藥混合均勻度與在橫桿不同的沈積下，橫過噴嘴噴霧樣式的均勻度。水溶性與非水溶性液體的黏度會稍微影響從計量幫浦而來的平均流量率。但不會影響到延遲時間，高濃度的模擬農藥是很難與水混合的，且它需要使用到螺旋式混合器才行。

USDA-ARS ATRU 研究計劃

果園氣流噴射速度輪廓與模式

理想的數學模式是修改飛機噴射，包括從一個圓形噴射出口離開的噴氣流其徑向擴張的效應。此模式被用來改善配合，當距噴口距離增加時，橫過噴口最大的速度。利用兩個軸向風扇噴霧器與使用徑向噴射模式的預測來量測輪廓。量測橫流風扇噴霧器產生的氣流中心速，可以很適合的使用飛機噴射模式計算預測值，於是一流速或經過風中氣流偏離模式被發展出來，由偏離噴測預測出來的噴射偏離與速度輪廓和在風洞中由一噴射模型量測的速度很相似。

從果園噴射器的飄移

在過去 8 年來，於蘋果園中一連串的飄移試驗皆在收集順風下地表與空中的噴霧樣本。使用螢光追蹤器用硬的塑膠薄皮與後來的塑膠帶來收集地面沈積物，空中噴霧由被動式收集器來收集，如繩子、塑膠袋及尼龍屏風。高容器的空氣取樣器可作為空中噴霧的主動式收集器，7 年內大約有 50 種噴霧通過飄移試驗。

溫室噴霧

電子束分析（electron beam analysis-EBA ）是用在溫室中人工目標物表面的煙霧顆粒。平均直徑小於 3.0＊m 且如 0.4＊m 小的顆粒直徑會隨著猩猩木樹叢的數目與煙霧來源的距離而變化，EBA 是一種研究殺黴菌劑煙霧沈積物有效的方法，且能有關農藥環境與使用技術的一種精確的資訊。

種苗作物的噴霧

在兩個不同的種苗產業者的皂莢或加拿大鐵衫木研究從傳統氣輔式軸流風扇噴霧器和一高間距離桿式噴霧器的噴霧穿透性和目標外的噴霧飄移。另一種研究是在一種苗業者在一軸式風扇噴霧器與橫流風扇噴霧器在紅花槭的噴霧覆蓋下之比較。噴霧分佈與飄移可經由葉子，電子顯微鏡殘片，垂直與水平輪廓式，夾葉與高容量空氣取樣器來收集殘留物，實驗結果顯示出地面噴霧沈積與空中飄移是隨著使用噴霧方法而異。在紅花槭（約 3.5m 高）上的噴霧沈積物是由藍色食品顏色與氫氧化銅黴菌量測而的。

低渦輪 T 型噴射與渦輪排放在飄移減少上的有效性

當使用殺蟲劑與殺黴菌時，小到中的尺寸霧粒最被期望的，因為他們提供了較好穿透過樹叢的特性與較好的覆蓋性。然而，小霧粒會飄移到較長的距離，幾乎大部份農業噴嘴製造商重點在低飄移的噴嘴，要求能有效的減少噴霧飄移。

此研究是使用低飄移噴嘴在風洞中心（11 哩/小時）量測霧粒大小及霧粒沈積距離，再與用一標準平扇噴嘴量測的數據比較，結果是低飄移噴嘴比標準平扇噴嘴有較少的飄移霧粒與較小的順風沈積。

抗飄移剪力效應

一些研究指出在經由農用噴霧原的再循環剪力作用會降低一些抗飄移，一實驗系統發展出一套用來模擬用噴霧器容器再循環混合產生的水與抗飄移物噴霧混合剪力效應。從噴霧器與實驗室噴霧樣本的霧粒大小分不由 APPDPA 量測，在另外的研究中，十個在商用的抗飄移物中，十種第一主要成分的聚合體被用來測試，這些結果皆顯示出在一農用噴霧器中一些抗飄移物在它們經由旁通管進出好幾次之後，就無法再維持能力來增加噴霧霧粒大小了。

高速影像擷取

高速影像（6000 畫面/秒）可應用於霧粒撞擊葉面時用。許多植物葉子表面結構有層腊，它會使再最初霧粒撞擊時產生反光，此畫面可以觀察到反光霧粒的數目與反彈的高度，但是反彈特性的量測，很不易做到。一個高速攝影系統來說可用來擷取些許連續攝影畫面。此攝影速度只在 15 到 150 畫面/秒，然而，使用高速連續曝光，可以抓到霧粒反彈的路徑畫面。

霧粒撞擊與反射

霧粒反射是依於撞擊霧粒的速度與霧粒大小,但主要決定反射的是葉子表面

的微結構。大的霧粒（500μm 直徑）比小霧粒（100μm 直徑）易於反射，但水的霧粒小於 70 仍會從甘藍菜反射。

動態表面張力

一些霧粒液體的物理性質，如表面張力與擴張性黏度可能會影響到從植物樹葉上的噴霧反射潛力。平衡的表面張力是熟知的液體性質量測，它無法成為反射趨勢的可靠指標，然而，動態表面張力與霧粒反射有關性，一種振動式噴射方法可用來測動態表面張力。

影像分析

ATRU 用電腦影像設備與影像處理軟體來量測噴霧應用的品質外觀。量測密度、大小與目標霧覆蓋情形，亦曾與不同使用技術的性能比較。不同的影像處理過程可用來評估影像與目標物、追蹤器及霧粒大小特性之相關性。當評估由水溶性追蹤器產生的外形參數，最有用的是使用形態學影像處理技術。